

## 经济昆虫资源的营养与药用价值

章玉萍,陈明,张丽丽,代君君,刘健,舒蕊,范涛

(安徽省农业科学院蚕桑研究所,合肥 230061)

**摘要:**为了研究经济昆虫的营养和药用价值,本研究综述了近5年来国内外的经济昆虫资源研究进展,从蛋白和氨基酸、脂肪和脂肪酸、矿物质和微量元素等几个方面归纳了经济昆虫的营养价值,列举了昆虫抗菌肽、激素、壳聚糖、甲壳素和毒素等经济昆虫生物活性物质的药用价值,并指出了种质资源保护、规模化养殖技术水平、产品加工技术等制约经济昆虫蛋白产业开发利用的瓶颈问题,并给出了相应的对策和建议,以期为加速经济昆虫产业化研究提供参考。

**关键词:**经济昆虫;营养价值;药用价值

中图分类号:S899.9

文献标志码:A

论文编号:cjas16110034

### Economic Insect Resources: Nutritive and Medicinal Values

Zhang Yuping, Chen Ming, Zhang Lili, Dai Junjun, Liu Jian, Shu Rui, Fan Tao

(The Sericultural Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Science, Hefei 230061, Anhui, China)

**Abstract:** To study the nutritive and medicinal value of economic insects, this study summarized the research progress of economic insect resources in recent 5 years, and enumerated nutritive value from some aspects, such as proteins, amino acids, fats and fatty acids, minerals and trace elements, and listed medicinal values of bio-active substances in economic insects, such as insect antimicrobial peptides, hormones, chitosan, chitin and toxins. Based on the analysis, the authors pointed out the bottleneck problems which restricted the development and utilization of protein industry of economic insects, such as the protection of germplasm resources, the technology of large-scale breeding, the technology of product processing and other related aspects. Then, countermeasures were put forward to provide references for accelerating economic insect industrialization research.

**Key words:** Economic Insect; Nutritive Value; Medicinal Value

### 0 引言

在土地资源匮乏、海洋渔业过度捕捞、气候变化和水资源短缺等诸多困境共存的当下,“本世纪中叶之后我们吃什么”是科学界亟须解决的问题。联合国粮农组织(FAO)发布的《可食用昆虫:食物和饲料保障的未来前景》指出,昆虫是地球上最大的生物类群,是迄今为止尚未被充分利用的最大生物资源<sup>[1-2]</sup>。世界上至少20亿人的传统食物中包含昆虫,许多昆虫富含优质蛋

白质、多种维生素、纤维和矿物质,可以作为人类食物的主要来源,有助于缓解当前全球粮食和饲料短缺问题。正因如此,经济昆虫这个概念应运而生。

经济昆虫种质资源指,昆虫纲中与人类经济利益密切相关的种类所带有的遗传资源的总称<sup>[3]</sup>。作为地球上未被充分利用的重要生物资源,经济昆虫资源的开发利用是21世纪昆虫学研究的热点和关键领域。中国经济昆虫资源极为丰富,利用经济昆虫资源

**基金项目:**安徽省农科院创新团队建设项目“经济昆虫资源多功能利用”(15C0606);国家蚕桑产业技术体系合肥综合试验站(CARS-22-SYZ09);安徽省蚕桑产业技术体系(ahnyctx-16)。

**第一作者简介:**章玉萍,女,1981年出生,副研究员,博士,主要从事经济昆虫资源综合利用研究。通信地址:230061 安徽省合肥市霍山路15号 安徽省农业科学院蚕桑研究所, E-mail: ypzhang6330@163.com。

**通讯作者:**范涛,男,1962年出生,研究员,硕士,研究方向:蚕桑蜂资源综合利用。通信地址:230061 安徽省合肥市霍山路15号 安徽省农业科学院蚕桑研究所, Tel: 0551-62826686, E-mail: fantao116@sohu.com。

**收稿日期:**2016-11-25, **修回日期:**2017-05-02。

的历史更可追溯至3000年以前。《齐民要术》和《食用本草》中就有古人食用蚕蛹和蝉的记载,《本草纲目》中记载的各类食用和药用昆虫更多达70余种。20世纪80年代以来,中国对经济昆虫的开发利用研究主要集中在黄粉虫、蟑螂、家蚕等具有较高食药价值的昆虫品种<sup>[3]</sup>。目前,中国在经济昆虫的产业化研究领域虽取得了一些进展,但与国外相比仍存在相当大差距,具体表现在:(1)经济昆虫的商品化和消费化利用仍局限于少数地区,品系种类少,产业规模小;(2)经济昆虫资源的保健和药用价值挖掘仍停留在虫体泡酒、虫身入药的初级阶段,以昆虫体内活性物质提取、分离和纯化为代表的药用昆虫产业发展缓慢;(3)对经济昆虫的饲养和种质资源保护重视不够,目前具备工厂化批量生产能力的可饲养经济昆虫仅有家蚕、柞蚕、黄粉虫等少数品种。因此,本研究对蛋白质、氨基酸、脂肪酸、抗菌肽、昆虫激素等经济昆虫主要成分进行了分析,并提出了经济昆虫从养殖到高价值产品产业化利用的思路,以供参考。

## 1 经济昆虫的营养价值

营养价值高、蛋白质含量丰富、饲养简单和食物转换率高、微量元素丰富等特点是经济昆虫蛋白资源作为食品开发的最大优势。有研究证实,经济昆虫不仅能够满足人类对优质蛋白的需求,还能提供大量不饱和脂肪酸,并富含诸如铜、铁、镁、锰、磷、硒、锌等矿物质以及维生素B<sub>2</sub>、生物素、叶酸等元素<sup>[4]</sup>。以黄粉虫为例,黄粉虫幼虫、蛹、成虫的蛋白质含量与鱼类相差无几,且缬氨酸、酪氨酸、丙氨酸等必需氨基酸含量超过40%。目前已经发现可食用的经济昆虫已经超过2000种,但其中只有极少一部分的营养价值被深入研究过<sup>[5]</sup>。对经济昆虫进行营养成分分类和营养价值分析是进行经济昆虫资源开发利用的先决条件。

### 1.1 昆虫蛋白及氨基酸

蛋白资源是经济昆虫的主要价值体现,如鳞翅目、鞘翅目、半翅目、膜翅目等目的昆虫蛋白含量都在30%以上。但不同种类的经济昆虫在蛋白成分比例上差别较大,如鞘翅目昆虫的平均蛋白含量为40.69%,但不同亚目如原鞘亚目、菌食亚目、肉食亚目、多食亚目等的蛋白含量从8.85%到71.10%不等,悬殊很大。这种差异不仅与种属相关,还和昆虫所在栖息地和饲养方法密切相关<sup>[6-7]</sup>。在营养成分已确认的近百种经济昆虫中,大部分昆虫的粗蛋白含量均大于40%,黄粉虫成虫、蝉成虫、中华稻蝗等的粗蛋白含量甚至高于60%,显著高于猪肉、牛肉、大豆等常见食物蛋白<sup>[8]</sup>(见表1)。此外,经济昆虫蛋白质的氨基酸配比合理,必需氨

基酸的含量大多在35%~50%之间,较为接近WHO/FAO提出的理想蛋白质的氨基酸比例<sup>[1]</sup>。经济昆虫的必需氨基酸和非必需氨基酸比例决定了其与已有的主食品种具有很好的营养成分互补性(见表2)。已有的饲养实验证实,经济昆虫在蛋白质净利用率(net protein utilization, NPU)和蛋白质功效比值(protein efficiency ratio, PER)2个关键指标上优于传统的大豆蛋白,可以作为小鼠等哺乳类动物的优质氨基酸来源<sup>[7]</sup>。后续的用蝇蛆喂食肉鸡的实验也获得了类似的结果<sup>[9]</sup>。如果对经济昆虫粗蛋白进行简单的加工,去除几丁质等哺乳动物难吸收的成分,粗蛋白的NPU和PER数值还可进一步提高。

表1 经济昆虫的营养成分含量 %

| 经济昆虫(干粉)      | 蛋白    | 脂肪    | 纤维    | NFE   | 灰分    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 蜚蠊目(蟑螂)       | 57.3  | 29.9  | 5.31  | 4.53  | 2.94  |
| 鞘翅目(甲虫、蛱蝶)    | 40.69 | 33.40 | 10.74 | 13.20 | 5.07  |
| 双翅目(苍蝇)       | 49.48 | 22.75 | 13.56 | 6.01  | 10.31 |
| 半翅目(蝽)        | 48.33 | 30.26 | 12.40 | 6.08  | 5.03  |
| 膜翅目(蚂蚁、蜜蜂)    | 46.47 | 25.09 | 5.71  | 20.25 | 3.51  |
| 等翅目(白蚁)       | 35.34 | 32.74 | 5.06  | 22.84 | 5.88  |
| 林翅目(蝶、蛾)      | 45.38 | 27.66 | 6.60  | 18.76 | 4.51  |
| 蜻蜓目(蜻蜓、豆娘)    | 55.23 | 19.83 | 11.79 | 4.63  | 8.53  |
| 直翅目(蟋蟀、蚱蜢、蝗虫) | 61.32 | 13.41 | 9.55  | 12.98 | 3.85  |

注:相对毒力指数=不同药剂的EC<sub>50</sub>值/代森锰锌的EC<sub>50</sub>值。

### 1.2 昆虫脂肪和脂肪酸

脂肪是经济昆虫的第二大营养成分。与昆虫蛋白相似,经济昆虫在脂肪含量上存在较大种属差异性,从直翅目的13.41%到鞘翅目的33.40%,含量不等。这种差异性与昆虫迁移、繁殖、飞行等过程密切相关,随生活史的变化而变化。在已发现的经济昆虫中,鳞翅目幼虫的脂肪含量较高,最高可达70%以上<sup>[10]</sup>。经济昆虫的脂肪酸构成与鱼油较为相似,不饱和脂肪酸含量较高,多不饱和脂肪酸/单不饱和脂肪酸比例和牛肉相近。饱和脂肪酸在昆虫脂肪中的比例从30.83%到41.97%不等,包括软脂酸和硬脂酸两大类(见表3)。随着各类浅海鱼类资源保护条例的设立,各类不饱和脂肪酸如多烯脂肪酸在未来将存在较大的供需缺口,富含不饱和脂肪酸的经济昆虫提供了一个更好的脂肪酸来源。此外,经济昆虫脂肪中存在的一些奇数脂肪酸如十五碳脂肪酸、十七碳脂肪酸等往往具有抗癌、抗炎等药理学活性,因此对昆虫体内奇数脂肪酸的分离纯化是目前经济昆虫研究的一个热点<sup>[11]</sup>。

表2 食用昆虫与人的氨基酸含量 mg/(g·D·蛋白)

| 食用昆虫及人类    | His  | He   | Leu  | Lys  | Mer  | Cys  | Met+Cys | Phe  | Tyr  | Phe+Tyr | Thr  | Trp  | Val  | Arg  | Ser  | Pro  | Ala  | Gly  | Glu A |
|------------|------|------|------|------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 蜚蠊目(蟑螂)    | 19.4 | 29.9 | 56.4 | 48.0 | 29.8 | 11.6 | 41.4    | 30.6 | 62.3 | 92.9    | 34.6 | 6.0  | 53.8 | 41.5 | 41.9 | 65.0 | 56.6 | 58.7 | 99.7  |
| 鞘翅目(甲虫、蛱蝶) | 26.3 | 45.6 | 74.2 | 50.6 | 16.2 | 14.6 | 31.9    | 47.1 | 55.7 | 98.6    | 35.2 | 10.1 | 51.9 | 53.9 | 42.6 | 64.1 | 69.5 | 55.2 | 123.7 |
| 双翅目        | 22.3 | 32.6 | 57.4 | 62.9 | 27.2 | 5.3  | 36.6    | 50.6 | 56.7 | 107.3   | 38.8 | 28.3 | 46.9 | 49.4 | 60.0 | 27.8 | 58.9 | 45.1 | 98.6  |
| 半翅目(臭虫)    | 15.7 | 31.5 | 49.8 | 28.0 | 21.7 | 12.9 | 32.2    | 34.4 | 38.7 | 63.8    | 29.9 | 10.3 | 44.3 | 24.9 | 10.3 |      | 26.4 | 16.4 | 23.7  |
| 膜翅目(蜜蜂、蚂蚁) | 27.0 | 47.8 | 78.4 | 53.8 | 23.8 | 12.9 | 30.5    | 47.5 | 55.3 | 104.3   | 41.7 | 10.3 | 60.5 | 43.5 | 38.2 | 66.7 | 72.3 | 81.3 | 134.3 |
| 鳞翅目(蝶、蛾)   | 23.7 | 40.4 | 62.7 | 57.7 | 22.1 | 12.2 | 34.7    | 46.3 | 49.1 | 95.8    | 40.0 | 11.2 | 54.1 | 46.9 | 48.4 | 44.9 | 48.9 | 43.8 | 103.4 |
| 直翅目        | 21.2 | 39.6 | 74.8 | 53.9 | 19.3 | 12.8 | 29.8    | 46.6 | 61.5 | 100.3   | 35.8 | 8.1  | 50.3 | 53.6 | 41.9 | 53.9 | 77.4 | 54.0 | 94.5  |
| 人类         | 15.0 | 30.0 | 59.0 | 45.0 | 16.0 | 6.0  | 22.0    |      |      | 30.0    | 23.0 | 6.0  | 39.0 |      |      |      |      |      |       |

表3 经济昆虫的脂肪酸组成 %

| 脂肪酸组成      | 饱和脂肪酸(SFA) | 单不饱和脂肪酸(MUFA) | 多不饱和脂肪(PUFA) | 不饱和脂肪酸(UFA) |
|------------|------------|---------------|--------------|-------------|
| 鞘翅目(甲虫、蛱蝶) | 38.49      | 35.72         | 27.14        | 0.61        |
| 双翅目        | 33.02      | 47.23         | 15.95        | 0.52        |
| 半翅目(臭虫)    | 43.89      | 32.39         | 22.89        | 0.79        |
| 膜翅目(蚂蚁、蜜蜂) | 29.88      | 48.76         | 21.18        | 0.43        |
| 等翅目(白蚁)    | 41.97      | 22.00         | 36.04        | 0.72        |
| 鳞翅目(蝶、蛾)   | 37.04      | 23.36         | 39.76        | 0.59        |
| 蜻蜓目(蜻蜓、豆娘) | 55.23      | 19.83         | 11.79        | 4.63        |
| 直翅目(蟋蟀、蝗虫) | 32.05      | 29.37         | 37.08        | 0.48        |

1.3 矿物质和维生素

矿物质和维生素是维持昆虫机体生理功能所必需的微量元素。经济昆虫含有钾、钠、钙、铜、铁、锌、锰、磷等矿物质且部分昆虫的钙、铁、锌等元素含量较高。如家蚕幼虫体内钾的质量高钙的质量高达 1020 mg/kg, 蜜蜂体内锌的含量达 63 mg/kg, 白蚁体内铁的含量高达 3320 mg/kg, 黄粉虫中锌的含量为 105 mg/kg, 硒元素的含量超过 4 mg/kg。蝇蛆幼虫中钙、铁和锰含量分别为 5000、38.94、30.60 mg/kg。中亚林蚁中镍的含量达到 1.22 mg/kg<sup>[12-14]</sup>。不同种类的经济昆虫在矿物质含量上存在种属差异性, 平均每 100 g 的昆虫虫体可能无法完全提供人体每天必须的各类微量元素, 但有超过 1900 种的昆虫都是可食用的, 挑选不同种类的经济昆虫并进行营养学的搭配足以满足人类对各类微量元素的需求。

维生素是人和动物为维持正常的生理功能而必须从食物中获得的一类微量有机物质, 在人体生长发育过程中发挥着重要的作用。昆虫体内的维生素 A、B1、B2、D、E、C 等含量较高, 如家蚕幼虫体内富含维生素 A、E 和 B7, 含量分别为 2739.90、514.50、1445.10 μg/kg, 蜜蜂卵的维生素 C 的含量为 163.80 μg/kg, 家蝇幼虫体内的维生

素 E 含量为牛奶的 15 倍<sup>[15]</sup>。

2 经济昆虫的医药价值

在过去, 经济昆虫的医药价值主要体现在虫体或衍生物及各级代谢产物可以入药。清代名医叶天士对昆虫入药就有过论述:“久则邪正混处其间, 草木不能见效, 当以虫蚁疏通逐邪”。目前国内已发现的具有药用价值的经济昆虫已达 200 种以上, 分属于 14 目 69 科<sup>[16]</sup>。具有散风解表功效的蝉蜕、具有利尿渗湿作用的紫虫胶、具有生肌止血功能的虫白蜡等等, 都是传统医药领域发掘昆虫药用价值的例子<sup>[17-18]</sup>。现代医学对经济昆虫药用价值的挖掘不再仅仅局限于虫体、衍生物或代谢产物入药, 更多的是从虫体中直接提取各类信息激素、生物胺等活性物质, 或利用昆虫的免疫防御机制, 用各类物化和生物手段诱导虫体产生各类抗菌肽、凝集素等生物活性物质。

2.1 昆虫抗菌肽

昆虫抗菌肽是昆虫在外界刺激条件下体内分泌的一类有免疫抗菌活性的小分子多肽, 是昆虫体液免疫中最重要的抗菌成分, 目前已发现的昆虫抗菌肽和类抗菌肽类物质已经超过 1700 种<sup>[19]</sup>。昆虫抗菌肽由昆虫特殊基因编码产生, 长度不超过 100 个氨基酸残基,

一般为两性的阳离子多肽。按照二级结构和氨基酸残基顺序,昆虫抗菌肽可分为4类:线性两亲 $\alpha$ -螺旋抗菌肽、具有二硫键结构的 $\beta$ -折叠抗菌肽、富含脯氨酸的抗菌肽和富含甘氨酸的抗菌肽<sup>[20]</sup>。已有的研究发现,昆虫抗菌肽的表达和分泌受很多因素诱导,如虫体的损伤、炎症或外界环境的改变等,且和昆虫的种类、分化水平密切相关,受昆虫先天性免疫系统的调节<sup>[21]</sup>。过去对昆虫抗菌肽的研究主要集中于它在昆虫先天性免疫反应中的作用机制,近年来由于抗生素耐药现象频繁发生,昆虫抗菌肽凭借热稳定性高、易降解、作用机制独特、无免疫原性和广谱抗菌作用强的优势成为抗菌抑菌研究领域的热点。如鳞翅目昆虫中特有的抗菌肽 Gloverins,富含甘氨酸序列,热稳定性高,最早由 Axen 等在天蚕蛹中发现。早期的体外体外抑菌实验发现 Gloverins 对革兰氏阴性菌如大肠杆菌、灵菌败血菌、耐氯霉素的绿脓杆菌表现出了抑菌活性,这种抑菌活性被证实与 Gloverins 能和革兰氏阴性菌外膜脂多糖成分结合并引起细胞膜通透性增加相关<sup>[22]</sup>。在进一步的深入研究中,研究者发现烟草天蛾和甜菜夜蛾中分离得到的 Gloverins 类抗菌肽无法和脂多糖成分结合,没有针对革兰氏阳性菌的抗菌活性,但对芽孢杆菌等革兰氏阳性菌、隐球菌等真菌都有良好的抑菌活性。这证实了不同种甚至同种昆虫产生的抗菌肽都会有抗菌谱的差异性<sup>[23-24]</sup>。这种差异性使得在不同体外表达体系所产生的抗菌肽不全相同,这为筛选具有独特作用机制的新型抗菌肽提供了广阔的研究空间。

随着以酵母、大肠杆菌等为宿主的抗菌肽表达技术逐渐成熟,抗菌肽的产业化推进速度越来越快,并拓展至医药之外的其他领域。由于昆虫抗菌肽在动物体内易被消化吸收,不容易产生耐药性,国内已有多个将抗菌肽作为添加剂应用于饲料中以提高畜禽抗病力的研究报道<sup>[25]</sup>。在饲育过程中发现,以昆虫抗菌肽作为饲料添加剂,不但可以提高畜禽抗病力,还可以改善肠道环境促进畜禽生长<sup>[26-27]</sup>。

## 2.2 昆虫激素

昆虫激素是昆虫腺体直接分泌的小分子物质,参与昆虫的生殖、变态、代谢等行为的调节和控制。对昆虫激素的研究有助于理解昆虫的发育周期和行为节律,从而达到控制干扰交配、控制昆虫生殖繁育的目的。昆虫激素包括两大类:由内分泌系统分泌的内激素如保幼激素、蜕皮激素等,主要参与昆虫的生长、发育、变态调节;由成虫腺体分泌的外激素如集合信息素、性外激素等,主要诱发同类昆虫或其他生物作出特定的行为反应,如交配、觅食等<sup>[28]</sup>。目前,昆虫激素

主要被用于农林牧渔行业的病害防治。昆虫激素类农药就是根据激素对昆虫生理节律的调节规律人工合成的,可以干扰或延缓害虫的生殖发育周期甚至直接杀死害虫。其特点是活性高、起效快、专一性强,对环境基本无害,是目前生物农药领域的新发展方向<sup>[29-32]</sup>。

## 2.3 昆虫壳聚糖和甲壳素

甲壳素是经 $\beta(1-4)$ 糖苷键连接的葡萄糖聚合物,壳聚糖是甲壳素脱去乙酰基后的产物,又称几丁聚糖。大部分昆虫体内甲壳素和壳聚糖的含量在5%~15%之间<sup>[33]</sup>。甲壳素和壳聚糖在食品、医药、日化等多个领域都有应用。作为自然界中唯一发现的带正电荷的可食性阳离子动物纤维,甲壳素/壳聚糖和人体组织器官有很好的生物相容性。此外,甲壳素/壳聚糖的结构特性决定它具有很好的结构延展性,可以通过化学修饰拓展生物学功能和应用范围。如使用自粘结法将聚乳酸和壳聚糖微粒粘结得到的聚乳酸/壳聚糖微粒多孔支架具有生物的相容性,并能通过微粒尺寸控制来调节支架中控大小,在生物医学领域尤其是骨组织工程领域存在广泛的应用价值<sup>[34]</sup>。壳寡糖在肠道内具有很强的吸附性,能够调节肠道菌群平衡,增强胃肠功能,还可以增强糖尿病病人对葡萄糖的耐受能力。这种耐受能力的增加可能和壳聚糖能够延缓糖分吸收,降低血糖峰值的作用机制相关<sup>[35-37]</sup>。国内研究者还发现,在小鼠肾肿瘤细胞模型上,壳聚糖衍生物可以抑制肿瘤细胞的增殖并促进其凋亡,作用机制可能和壳聚糖对肿瘤细胞的细胞毒作用有关<sup>[38]</sup>。

## 2.4 昆虫毒素

昆虫毒素是昆虫分泌的一大类生物活性物质的统称,包括神经毒素、多肽类、酶类、萜和生物活性胺等。昆虫毒素除最基本的昆虫防御功能外,还被发现能够参与昆虫的生理节律调节。如膜翅目细腰亚目昆虫分泌毒素的毒腺就被认为和其进化状态密切相关<sup>[39-40]</sup>。被研究较多的是昆虫神经毒素。研究者将蝎昆虫神经毒素基因进行原核表达或直接转入作物中,得到了各类新型生物杀虫剂或抗虫性强的新作物品种<sup>[41-44]</sup>。随着药理学和毒理学技术手段的进步,昆虫毒素的更多药理学特性如抗肿瘤、抗菌抗病毒功效也被逐步揭示。如斑螫素可以促进肿瘤细胞凋亡,具有很强的抗肿瘤功效<sup>[45]</sup>。近几年的研究发现,斑螫素对免疫系统也有一定的调节作用,可以显著抑制脂多糖诱发的小鼠淋巴细胞增殖<sup>[46]</sup>。

## 3 促进国内经济昆虫产业化发展的建议

中国有着经济昆虫资源利用的悠久历史,从最早的《神农本草经》开始,家蚕、五倍子等昆虫的食药用品

值挖掘已有大量的文字记载,这些研究成果为中国成为经济昆虫资源大国奠定了坚实的基础。随着对经济昆虫研究的深入,经济昆虫的资源卡位优势日益突出,但国内经济昆虫资源的开发利用仍处于初级阶段,其原因可归为几点:(1)“食虫”观念尚未被包括主流群体在内的大部分人接受,消费者对可食用经济昆虫的接受度不高,对经济昆虫食品价格、可感知的环境收益等方面的认知尚处于启蒙阶段,而且以经济昆虫饲育、生产、储藏、销售为中心的产业体系尚未建立;(2)可供规模化养殖的经济昆虫种类较少。目前国内已经形成完整研究体系的可养殖经济昆虫主要是黄粉虫、地鳖、水虻、松毛虫等少数品种,品种少,养殖技术和研究深入程度不匹配,规模效应不明显;(3)经济昆虫深加工产品种类单一,还停留在“因虫吃虫、以虫治虫”的初级阶段,经济昆虫资源研发投入的效费比不高。上述因素都严重制约经济昆虫产业的深入发展。针对这些制约因素,本研究提出以下对策和建议。

### 3.1 加强经济昆虫种质资源保护

经济昆虫资源的产业化是以经济昆虫的规模化养殖为依托和前提的,因此经济昆虫优质种质资源的保护和工业化生产是经济昆虫开发的首要 and 关键问题。对经济昆虫种质资源的保护实质上是对遗传多样性的保护,不同环境、不同品系、不同饲育方法得到的经济昆虫在昆虫蛋白和生物活性物质的种类与含量等方面都存在较大差异,可以有效填补人类对于优质蛋白和稀缺活性成分的巨大需求。对于一些数量稀少、食药价值巨大的稀缺昆虫品种,应避免过度捕捉,有计划的组织科研院所开展相关品种的人工繁育研究。

### 3.2 提升规模化养殖技术水平

随着饲育技术的进步,能够进行人工大量繁育的经济昆虫范围也在扩大,从过去的家蚕、柞蚕、黄粉虫拓展到现在的蟑螂、蝙蝠蛾等。虽然可饲育品种数目在不断增加,但绝大多数经济昆虫的饲养技术和病害防治仍停留在非常初级的阶段。这就需要研究者从昆虫生态学、养殖生理学和毒理学等方面开展可饲育经济昆虫的营养价值、食物转化率和生存力研究,填补经济昆虫规模化养殖技术的研究空白,为经济昆虫的产业化发展打下坚实基础。

### 3.3 推动经济昆虫加工技术进步

经济昆虫产品的不同形式、营养成分的保留和有效物质的提取等都依赖于加工技术的进步。在国内很多地区,经济昆虫的加工处理方法较为简单初级:直接将幼虫、成虫或蛹晒干后进行煎、炒、炸后得到初级产品。这些产品未经药理学和毒理学检测,往往存在很

大的安全隐患,特别是一些昆虫体内的重金属和农药残留容易诱发食品安全问题。此外,昆虫虫体脱色、脱臭等昆虫食品加工工艺的进步将有助于扭转人们对经济昆虫食品观念的改变。因此,经济昆虫产品加工技术的进步将是经济昆虫产品由数量到质量突破的关键,这会是经济昆虫今后研究的热点领域。

### 3.4 建立统一的科研指导和协调体系

目前国内经济昆虫产业的发展仍处于一个相对初级的极端,对资源的开发利用缺乏统一的管理,多数昆虫加工企业和相关科研结构仍然处于分散和独立研究的状态,缺乏全局的科研规划。这种情况容易导致经济昆虫产业发展的盲目性和重复性,对稀缺资源的破坏也大。因此,作为一门新兴的学科,经济昆虫资源开发利用需要相关的主管部门进行统一的协调和学科领域整合,以帮助这门学科更快更好的发展。

## 参考文献

- [1] Sharma, Sharma H C, Seetharama K K, et al. Book review on Edible insects: Future prospects for food and feed security[J]. *Advances in Entomology*, 2014, 2(1): 47-48.
- [2] Verena Nowak, Diedelinde Persijn, Doris Rittenschober, et al. Review of food composition data for edible insects[J]. *Food Chemistry*, 2016, 193: 39-46.
- [3] 马春森, 何鹏, 石巍, 等. 重要经济昆虫资源的工作现状和展望[C]. 第五届生物多样性保护与利用高新技术国际研讨会论文集[A]. 中国生物多样性保护基金会, 2005: 227-233.
- [4] Rumpold B A, Schlüter O K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2013, 57(5): 802-823.
- [5] Premalatha M, Abbasi T, Abbasi T, et al. Energy- efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: the use of edible insects[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(9): 4357-4360.
- [6] Barker D, Fitzpatrick M P, Dierenfeld E S. Nutrient composition of selected whole invertebrates[J]. *Zoo Biology*, 1998, 17(2): 123-134.
- [7] Finke M D. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores[J]. *Zoo Biology*, 2002, 21(3): 269-285.
- [8] Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, et al. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2013, 12(3): 296-313.
- [9] Hwangbo J, Hong E C, Jang A, et al. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2009, 30(4): 609-14.
- [10] Julieta Ramos-Elorduy, Avilagonzález E, Rochahernández A, et al. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2002, 95(1): 214-20.

- [11] 李生梅.多种昆虫的油脂提取、脂肪酸成分分析及 $\alpha$ -亚麻酸分离纯化研究[D].陕西:西北农林科技大学,2006:1-6.
- [12] Rumpold B A, Schlüter O K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects[J].Molecular Nutrition & Food Research, 2013,57(5):802-823.
- [13] 姬玉娇,孔祥峰,周笑犁,等.三种昆虫的营养成分测定[J].天然产物研究与开发,2013,09:1229-1233.
- [14] 董洁,穆利霞,廖森泰,等.部分食用昆虫不同发育时期主要营养成分与活性物质研究综述[J].蚕业科学,2014(4):737-742.
- [15] Kodondi K K, Leclercq M, Gaudin-Harding F. Vitamin estimations of three edible species of Attacidae caterpillars from Zaire. International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung[J]. Journal international de vitaminologie et de nutrition,1987,57(3): 333-334.
- [16] 樊瑛.药用昆虫及其发展前景[J].应用昆虫学报,1996(4):236-237.
- [17] 雷琼.我国药用昆虫的研究进展[J].杨凌职业技术学院学报,2011, 10(4):14-16.
- [18] 李斌.贵州丹霞药用昆虫概述[J].广东农业科学,2012,15:188-190.
- [19] 张志强,黄庆洲,李英伦,等.抗菌肽重组表达体系及基因表达调控研究进展[J].中国兽医杂志,2013,07:58-60.
- [20] Martin E, Ganz T, Lehrer R I, Defensins and other endogenous peptide antibiotics of vertebrates[J].Journal of Leukocyte Biology, 1995,58(2):128-136.
- [21] 卫旭彪,武如娟,郑召君,等.抗菌肽的免疫调节功能及其作用机制[J].饲料工业,2015,22:55-58.
- [22] 韩冬,邓小娟,杨婉莹,等.家蚕拟抗微生物肽 Gloverins 基因(*BmgIv*)的原核表达及抗菌活性鉴定[J].昆虫学报,2008,06:561-568.
- [23] Jiang H, Vilcinskas A, Kanost M R. Immunity in lepidopteran insects[J].Advances in Experimental Medicine and Biology,2010, 708:181-204.
- [24] 刘静,刘丽丽,李成磊,等.昆虫抗菌肽 Gloverins 的进化及抗菌差异性的研究[J].云南农业大学学报,2015,03:376-381.
- [25] 陈琳.创造绿色、健康养殖世界的首选产品—抗菌肽—记中澳合资瑞鑫百奥生物科技(深圳)有限公司[J].国外畜牧学(猪与禽), 2013,08:92-93.
- [26] Jin Z, Yang Y X, Choi J Y, et al. Effects of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Golden valley) protein having antimicrobial activity on the growth performance, and intestinal microflora and morphology in weanling pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2008,140(s 1/2):139-154.
- [27] Wang J H, Wu C C, Feng J. Effect of dietary antibacterial peptide and zinc- methionine on performance and serum biochemical parameters in piglets[J].Czech Journal of Animal Science- UZEI (Czech Republic),2011.
- [28] 董飒.昆虫激素的研究现状及发展[J].世界农药,2012,03:31-34,52.
- [29] 王升,李胜.昆虫蜕皮激素生物合成及其神经肽调控[J].应用昆虫学报,2012,49(3):573-577.
- [30] 林峰,袁冬菊,赵博光,等.昆虫蜕皮激素和保幼激素对松材线虫繁殖的影响[J].江西农业大学学报, 2014,02:309-313.
- [31] 罗宗秀,蔡晓明,边磊,等.茶树害虫性信息素研究与应用进展[J].茶叶科学,2016,36(3):229-236.
- [32] 王力刚,朱娟,王猛,等.昆虫激素体外调节家蚕滞育激素受体基因的表达[J].江苏科技大学学报:自然科学版,2013,04:391-395.
- [33] 刘高强,王晓玲.昆虫壳聚糖在食品工业中的开发应用[J].食品科技,2004,03:92-94.
- [34] 徐文峰.壳聚糖昆虫资源筛选及其复合材料的开发研究[D].重庆:重庆大学,2010:3-4.
- [35] 王佳璐,黄文,周兴苗,等.蝇蛆壳聚糖保鲜剂对几种蔬菜的保鲜作用研究[J].昆虫天敌,2005,01:10-14.
- [36] 王赵群,李畅,张玉琴,等.家蚕蜕皮物和蝉蜕制备壳聚糖的理化特性与抑菌活性分析[J].蚕业科学,2016,03:513-518.
- [37] 荆迎军,单颖,李德森,等.家蝇幼虫壳聚糖的抑菌活性及影响因子[J].昆虫学报,2006,04:582-587.
- [38] 徐龙进.壳聚糖对小鼠的免疫调节作用[D].南京:南京农业大学, 2004:14-15.
- [39] 王小艺,杨忠岐.寄生性膜翅目昆虫毒素的生态机制及应用前景[J].生态学报,2006,04:1251-1260.
- [40] Deng J, Yu F, Li H B, et al. Cophylogenetic relationships between Anicetus parasitoids (Hymenoptera: Encyrtidae) and their scale insect hosts (Hemiptera: Coccidae)[J].BMC Evolutionary Biology, 2013,01:1-11.
- [41] 伍宁丰,孙芹,姚斌,等.抗虫的转 AaIT 基因杨树的获得[J].生物工程学报,2000,02:129-133.
- [42] Vasconcelos S D, Hails R S, Speight M R, et al. Differential crop damage by healthy and nucleopolyhedrovirus- infected *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae) larvae: a field examination [J].Journal of Invertebrate Pathology,2005,88(2):177-179.
- [43] Rajendra W, Hackett K J, Buckley E, et al. Functional expression of lepidopteran- selective neurotoxin in baculovirus: potential for effective pest management[J].Biochimica Et Biophysica Acta,2006, 1760(2):158-163.
- [44] Karbat I, Turkov M, Cohen L, et al. X- ray Structure and Mutagenesis of the Scorpion Depressant Toxin LqhIT2 Reveals Key Determinants Crucial for Activity and Anti- Insect Selectivity [J].Journal of Molecular Biology,2007,366(2):586-601.
- [45] 何太平,莫丽儿,梁念慈.斑蝥素诱导高转移卵巢癌细胞 HO- 8910PM 凋亡的研究[J].中国药科大学学报,2005,36(2):164-167.
- [46] 尹璇,陈志伟.斑蝥素及其药理作用研究进展[J].生命科学仪器, 2009,03:3-6.